

doi: 10.7690/bgzdh.2018.10.012

连建制高炮系统可靠性试验时间累计方法

史海龙¹, 王晶晶¹, 李文才², 任成才¹, 谢杰涛¹

(1. 中国人民解放军 63850 部队, 吉林 白城 137001;

2. 中国兵器装备集团自动化研究所武器装备信息与控制技术研发中心, 四川 绵阳 621000)

摘要: 为解决高炮系统在不同工作方式下可靠性试验时间统计的问题, 提出一种连建制高炮系统可靠性试验时间累计方法。将系统工作时间转换为统计各分系统独立工作时间, 通过对不同工作方式下各分系统工作时间进行加权统计, 将联合工作时间变换为分系统独立工作时间, 给出成建制高炮系统可靠性试验时间累计方法, 并以实例进行分析。试验结果表明, 该方法可以用于成建制武器的可靠性评定。

关键词: 牵引高炮系统; 分系统; 工作方式; 可靠性; 时间累计

中图分类号: TJ35 **文献标志码:** A

Operating Time Accumulate Method in Reliability Test of a Towed Antiaircraft Gun System

Shi Hailong¹, Wang Jingjing¹, Li Wencai², Ren Chengcai¹, Xie Jietao¹

(1. No. 63850 Unit of PLA, Baicheng 137001, China;

2. Research & Development Center of Weapon Equipment Information & Control, Automation Research Institute of China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China)

Abstract: In order to solve the problem of operating time accumulation in reliability test of a towed antiaircraft gun under different work modes, a operating time accumulate method was proposed. Through converting system work time to subsystem working time, statistic the various subsystem work time under different work modes by weighted method, transformed jointly work time to subsystem independent work time, the operating time accumulate method was given with the example analysis. The test results show that the method can be used to evaluate the reliability of weapon system.

Keywords: towed anti-aircraft gun system; subsystem; operation mode; reliability; time accumulated

0 引言

某型成建制牵引高炮系统的可靠性试验是结合设计定型试验进行的。研制总要求中可靠性指标针对整个高炮系统, 包括连射击指挥系统、多门高炮组成的火力系统。在设计定型试验中, 随动射击试验、动态飞行试验、对空射击试验、环境适应性试验等项目多是针对一门火炮进行。在国军标中, 可靠性试验方法^[1-4]与定型试验结合进行的使用方法^[5]都要求鉴定对象整体工作, 即要求该高炮系统的射击指挥系统、火力系统等分系统同时工作, 与实际的定型试验不一致^[6]。如何将不同工作方式下的试验时间统计为成建制高炮系统的可靠性试验时间, 是试验中急需解决的问题。为解决这个问题, 可以不统计分系统的试验时间, 若可靠性总时间不够, 采用全系统工作方式, 另追加可靠性试验时间, 直至总试验时间满足可靠性试验方案规定的要求。这种方式的缺点是补做试验的应力很难与实际试验

时完全一样, 比如射击的冲击应力、高低温的环境等应力都很难加到全系统上。针对该问题, 笔者通过时间分配^[7-10]的方式, 给出成建制高炮系统可靠性试验时间累计方法。

1 时间累计方法

设系统 L 由相互独立的分系统 L_1, L_2, \dots, L_n 串连而成。则^[11]

$$\frac{1}{T} = \frac{1}{T_1} + \frac{1}{T_2} + \dots + \frac{1}{T_n} \quad (1)$$

式中: T 为系统平均故障间隔时间 (MTBF); T_i 为各分系统的 MTBF。在此高炮系统可靠性试验中, 出现一次故障即记录一次故障, 因此可以将系统看作是串联系统。

文中的统计方法可用图 1 表示。先记录不同工作方式下的工作时间 t_j^L , 然后将 t_j^L 转换为各分系统的工作时间 t_i , 统计至各分系统定时截尾试验时间

收稿日期: 2018-07-09; 修回日期: 2018-07-17

作者简介: 史海龙(1979—), 男, 辽宁人, 硕士, 工程师, 从事防空武器试验鉴定研究。

T'_i 时所发生的故障数, 若各分系统故障数的和小于规定故障数, 则判定满足战术技术指标要求, 否则不合格。

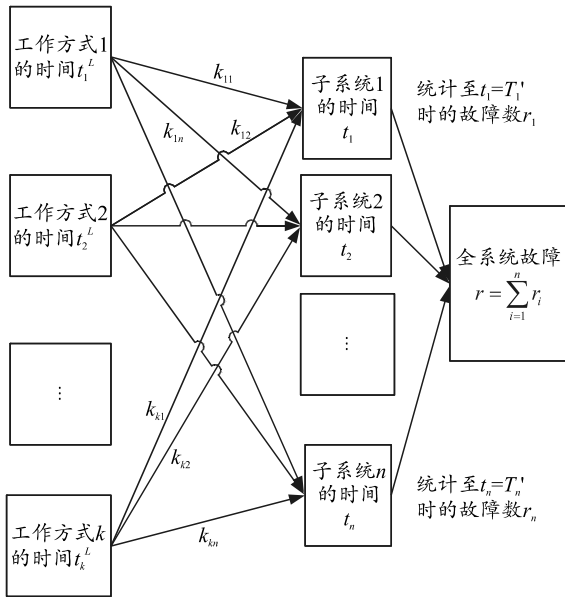


图 1 时间转换

下面给出由不同工作方式下的试验时间 ($t_1^L, t_2^L, \dots, t_k^L$) 转化为各分系统工作时间 t_i 的方法。对分系统 L_i , 工作方式有 2 类: 工作方式中不包含 L_i 和包含 L_i 。定义 k_{ji} 为第 j 种工作方式对分系统 L_i 的加权系数。不包含 L_i 时, 有

$$k_{ji} = 0. \tag{2}$$

与其他分系统联合工作时, 先求出联合分系统的平均故障间隔时间。设第 j 个联合分系统由分系统 ($L_i, \dots, L_{i+m}, m \geq 0$) 构成, 则由式(1), 联合分系统平均故障间隔时间 T_j^L 满足:

$$\frac{1}{T_j^L} = \frac{1}{T_i} + \dots + \frac{1}{T_{i+m}}; \tag{3}$$

$$T_j^L = \frac{1}{\frac{1}{T_i} + \dots + \frac{1}{T_{i+m}}}. \tag{4}$$

则联合分系统相对于分系统 L_i 的加权系数

$$k_{ji} = T_i / T_j^L. \tag{5}$$

即联合分系统工作 1 h, 相当于子系统工作 k_{ji} 小时。

最终 k_{ji} 计算公式如下:

$$k_{ji} = \begin{cases} 0 & \text{工作方式 } j \text{ 不包含 } L_i \\ T_i / T_j^L & \text{工作方式 } j \text{ 包含 } L_i \end{cases}. \tag{6}$$

如工作方式有 k 种, 每种工作方式的工作时间

为 t_j^L , 则分系统 L_i 的工作时间

$$t_i = \sum_{j=1}^k k_{ji} t_j^L. \tag{7}$$

如系统含 n 个分系统, 则将不同工作方式下的时间转换为分系统工作时间, 可用矩阵表示如下:

$$\begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ \vdots \\ t_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{21} & \dots & k_{k1} \\ k_{12} & k_{22} & \dots & k_{k2} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ k_{1n} & k_{2n} & \dots & k_{kn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} t_1^L \\ t_2^L \\ \vdots \\ t_k^L \end{bmatrix}. \tag{8}$$

由系统及各分系统的平均故障间隔时间 T 及 T_i , 可以将系统的定时截尾试验时间 T' 转换为分系统定时截尾试验时间 T'_i 。当分系统独立工作时, 可认为, 全系统正常工作 1 h, 相当于需要分系统 L_i 正常工作 T_i / T 小时, 才可满足系统可靠性指标要求。则分系统独立工作的定时截尾时间为

$$T'_i = T' \times \frac{T_i}{T}. \tag{9}$$

统计至:

$$\begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ \vdots \\ t_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T'_1 \\ T'_2 \\ \vdots \\ T'_n \end{bmatrix} \tag{10}$$

时发生的故障数的和:

$$r = \sum_{i=1}^n r_i. \tag{11}$$

2 试验中的应用

2.1 分系统及工作方式

某型牵引高炮系统设定可靠性方案时, 假设将系统分为 12 个单体、3 个分系统、5 种工作方式。12 个单体为阵地基线测量仪、雷达接口适配器、连指挥计算机、数字通信系统、8 门火炮。3 个分系统为阵地基线测量仪分系统, 连射击指挥分系统, 单炮分系统。系统总体的可靠性指标为 $MTBF \geq 50$, 设计时分配给阵地基线测量仪 410 h, 雷达接口适配器 1 500 h, 连指挥计算机 1 050 h, 数字通信系统 860 h, 火力系统 78.6 h。

阵地基线测量仪分系统记为分系统 1, 平均故障间隔时间为

$$T_1 = 410.$$

连射击指挥分系统包括雷达接口适配器、连指挥计算机、数字通信系统。记为分系统 2, 平均故

障间隔时间为

$$T_2 = \frac{1}{1/1500+1/1050+1/860} = 359.5。$$

单炮分系统, 记为分系统 3。火力系统平均故障间隔时间为 78.6 h, 由式(1)可得:

$$\frac{1}{78.6} = \frac{1}{T_{p1}} + \frac{1}{T_{p2}} + \frac{1}{T_{p3}} + \frac{1}{T_{p4}} + \frac{1}{T_{p5}} + \frac{1}{T_{p6}} + \frac{1}{T_{p7}} + \frac{1}{T_{p8}}。$$

8 门火炮完全相同, 则可知单门火炮平均故障间隔时间为

$$T_3 = 78.6 \times 8 = 628.8。$$

此处的分系统不同于武器系统设计时所分的火力分系统、火控分系统, 而是试验中相互独立的最小工作方式。

5 种工作方式为: 阵地基线测量仪单独工作方式、连射击指挥分系统单独工作方式、单炮单独工作方式、单炮作战方式、全系统八炮作战方式。

几种主要的工作方式说明如下:

1) 阵地基线测量仪单独工作方式, 记为方式 1, 如视场、倍率等光学性能的试验。平均故障间隔时间同分系统 1:

$$T_1^L = 410。$$

2) 连射击指挥分系统单独工作方式, 指雷达接口适配器、连指挥计算机、数字通信系统联合工作, 记为方式 2, 主要是信息化试验的静检试验。平均故障间隔时间同分系统 2:

$$T_2^L = 359.5。$$

3) 单炮单独工作方式, 记为方式 3。如随动系统静检、第 1 次随动系统射击、第 2 次随动系统射击、热态射击、强度射击等。平均故障间隔时间同分系统 3:

$$T_3^L = 628.8。$$

4) 单炮作战方式, 记为方式 4, 指阵地基线测量仪、连射击指挥分系统和一门火炮联合工作, 如动态飞行试验、对空射击试验、环境试验。平均故障间隔时间为

$$T_4^L = \frac{1}{1/410+1/359.5+1/628.8} = 146.8。$$

5) 全系统八炮作战方式, 记为方式 5, 指阵地基线测量仪、连射击指挥分系统和 8 门火炮联合工作, 如 8 h 连续工作时间试验、八炮协同打击多目标试验。平均故障间隔时间为:

$$T_5^L = \frac{1}{1/410+1/359.5+1/78.6} = 55.7。$$

2.2 方案

采用定时截尾试验方案, 系统总工作时间为 $T' = 185\text{h}$, 故障数 $r \leq 2$ 。

系统的平均故障间隔时间和工作方式 5 一致

$$T = 55.7。$$

由式(9), 阵地基线测量仪定时截尾时间为

$$T'_1 = 185 \times \frac{410}{55.7} = 1361.8。$$

连射击指挥分系统定时截尾时间为

$$T'_2 = 185 \times \frac{359.5}{55.7} = 1202.5。$$

单炮定时截尾时间为:

$$T'_3 = 185 \times \frac{628.8}{55.7} = 2088.5。$$

2.3 时间统计

实际试验中, 阵地基线测量仪单独工作 176 h; 连射击指挥分系统单独工作 245 h; 单炮单独工作中静检 49 h, 射击 77.5 h, 共工作 126.5 h。单炮作战方式中, 环境试验 18 h, 动态飞行试验 336 h, 单炮对空射击 71.4 h, 共耗时 425.4 h。全系统八炮作战方式共耗时 80 h, 其中连续工作时间试验 16 h, 整体性能试验 64 h。

1) 阵地基线测量仪。

单炮作战方式对阵地基线测量仪系数为

$$k_{41} = T_1 / T_4^L = 410 / 146.8 = 2.8。$$

八炮作战方式对阵地基线测量仪系数为

$$k_{51} = T_1 / T_5^L = 410 / 55.7 = 7.4，$$

则阵地基线测量仪工作时间:

$$t_1 = 176 + 2.8 \times 425.4 + 7.4 \times 16 = 1485.52。$$

统计至 1361.8 h 为止。

2) 连射击指挥分系统。

单炮作战方式对连射击指挥分系统系数为

$$k_{42} = T_2 / T_4^L = 359.5 / 146.8 = 2.5。$$

8 炮作战方式对连射击指挥分系统系数为

$$k_{52} = T_2 / T_5^L = 359.5 / 55.7 = 6.5，$$

则连射击指挥分系统工作时间

$$t_2 = 245 + 2.5 \times 425.4 + 6.5 \times 16 = 1412.5。$$

统计至 1202.5 为止。

3) 单炮时间统计。

单炮作战方式对单门火炮系数

$$k_{43} = T_3 / T_4^L = 628.8 / 146.8 = 4.3。$$

PSO based RBF classifier for two-class imbalanced problems[J]. Neurocomputing, 2011, 74(17): 3456-3466.

[4] ZHU G, KWONG S. Gbest-guided artificial bee colony algorithm for numerical function optimization[J]. Applied Mathematics and Computation, 2010, 217(7): 3166-3173.

[5] OMAKAR S N, SENTHILNATH J, KHANDELWAL R, et al. Artificial bee colony(ABC) for multi-objective design optimization of composite structure[J]. Applied Soft Computing, 2011, 11(1): 489-499.

[6] KARABOGA D, BASTURK B. On the performance of artificial bee colony(ABC)algorithm[J]. Applied Soft Computing, 2008, 8(1): 687-697.

[7] KARABOGA D, AKAY B. A comparative study of artificial bee colony algorithm[J]. Applied Mathematics and Computation, 2009, 214(1): 108-132.

[8] PAN Q K, TASGETIREN M F, SUGANTHAN P N. A discrete artificial bee colony algorithm for the lot-streaming flow shop scheduling problem[J]. Information Sciences, 2011, 181(12): 2455-2468.

[9] SINGH A. An artificial bee colony algorithm for the leaf constrained minimum spanning tree problem[J]. Applied Soft Computing, 2008, 9(2): 625-631.

[10] KARABOGA D, BASTURK B. A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony(ABC)algorithm[J]. Journal of Global Optimization, 2007, 39(3): 459-471.

[11] KARABOGA D, BASTURK B. A comparative study of artificial bee colony algorithm[J]. Applied Mathematics

and Computation, 2009, 214(1): 108-132.

[12] LORENZI L, MERCIER G, MELGANI F. Support vector regression with kernel combination for missing data reconstruction[J]. IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing Letters, 2012, 10(2): 367-371.

[13] CAMPS V G, BRUZZONE L, ROIO A J L, et al. Robust support vector regression for biophysical variable estimation from remotely sensed images[J]. IEEE Geosci Remote Sens Lett, 2009, 3(3): 339-343.

[14] ELATTAR E E, GOULERMAS J, WU Q H. Electric load forecasting based on locally weighted support vector regression[J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 2010, 40(1): 438-447.

[15] 王坤, 员晓阳, 王力. 基于改进模糊支持向量回归模型的机场能源需求预测[J]. 计算机应用, 2016, 36(5): 1458-1463.

[16] 朱志洁, 张宏伟, 王春明. 基于人工蜂群算法优化支持向量机的采场底板破坏深度预测[J]. 重庆大学学报, 2015, 38(6): 37-43.

[17] 陈健飞, 蒋刚, 杨剑锋. 改进 ABC-SVM 的参数优化及应用[J]. 机械设计与制造, 2016, 22(1): 24-28.

[18] 施俊, 高正夏, 徐钦崙. 基于 ABC-SVM 的软基沉降预测研究[J]. 河南科学, 2016, 34(5): 741-745.

[19] 高相铭, 杨世凤, 潘三博. 基于 EMD 和 ABC-SVM 的光伏并网系统输出功率预测研究[J]. 电力系统保护与控制, 2015, 43(11): 86-92.

(上接第 59 页)

八炮作战方式对单门火炮系数

$$k_{53} = T_3 / T_5^L = 628.8 / 55.7 = 11.3。$$

则单炮工作时间

$$t_3 = 126.5 + 4.3 \times 425.4 + 11.3 \times 16 = 2136.5。$$

统计至 2 088.5 h 为止。

试验中阵地基线测量仪未出现故障, 连射击指挥分系统出现一个故障, 单门火炮未出现故障, 满足故障数 $r \leq 2$ 的要求, 因此系统可靠性满足战术技术指标要求。

3 结论

笔者针对某型牵引高炮系统设计定型试验与可靠性试验相结合时存在的问题, 采用了一种加权的可靠性时间统计方法, 将分系统工作时间统计为系统整体工作时间, 给出了成建制高炮系统可靠性试验时间累计方法。定型试验的应用结果表明, 该方法可以用于成建制武器的可靠性评定。

参考文献:

[1] 中国人民解放军总装备部. GJB 450A-2004 装备可靠

性工作通用要求[S]. 北京: 总装备部军标出版社, 2004.

[2] 中国人民解放军总装备部. GJB 899A-2009 可靠性鉴定和验收试验[S]. 北京: 总装备部军标出版社, 2009.

[3] 国防科学技术工业委员会. GJB 1829-1993 自行小高炮故障判别准则[S]. 北京: 国防科工委军标出版发行部, 1993.

[4] 邱有成, 谷师泉, 徐宏林. 可靠性试验技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2003: 174-183.

[5] 张志杰, 王静滨, 张树杰, 等. 某高炮电气控制系统使用可靠性评估方法研究[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2013, 31(1): 19-23.

[6] 宋方伟, 梅勇. 分布式高炮复合数据同步采集系统[J]. 兵工自动化, 2016, 35(5): 15-17.

[7] 孙志学, 杨红. 双 35mm 牵引高炮系统任务可靠性评估与分析[J]. 四川兵工学报, 2003: 24(1): 13-15.

[8] 金鑫, 欧阳春明, 郝利勇. 基于权函数的防空武器系统可靠性分配[J]. 兵工自动化, 2007, 26(6): 13-14.

[9] 张振禹, 雷玲, 程俊. 自动火炮武器火控系统可靠性分配方法[J]. 兵工自动化, 2011, 30(6): 6-8.

[10] 商兴华, 韩维, 李成, 等. 一种新的飞机系统可靠性分配方法[J]. 兵工自动化, 2010, 29(12): 16-19.

[11] 杨为民. 可靠性维修保障性总论[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995: 52-62.